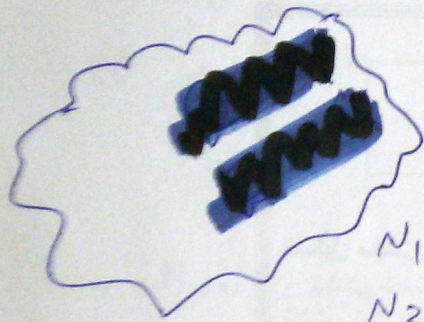


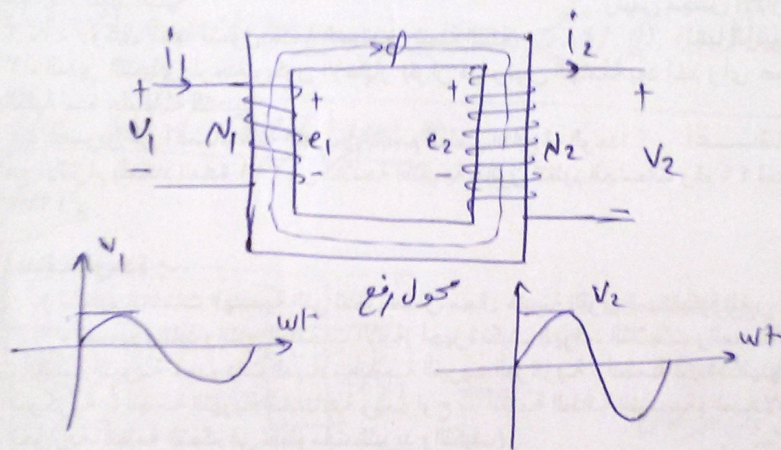
# Chapter (3) Electrical Transformers

الغرض الأساسي لعمل المحولات :- للمساعدة على نقل القدرة الكهربائية إلى مسافات بعيدة للتقليل من  
المخاطر التي كانت تنتج من طول المسافة شريطة عدم رفع التردد .



تخطيط العمل هيكلي المحول :-

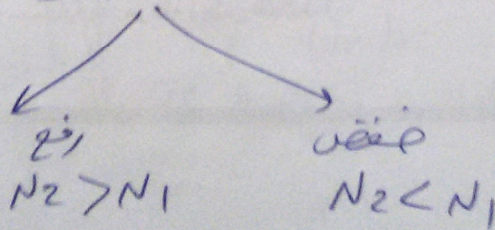
- يكون منه :- قلب حديدي عازل (Field Guide)
- ملفات ابتدائية primary لها عدد لفات  $N_1$
- ملفات ثانوية secondary لها عدد لفات  $N_2$



\* عند توصيل جهد متردد AC على ملفات الـ primary يمر تيار من الملفات الـ  $N_1$  فينولد  $\phi$  يمر من القلب الحديدي الذي عازل Guide له حتى يقطع ملفات الـ secondary فينولد EMF على هذه الملفات الـ  $N_2$  وهذا  $(e_2)$  إذا كان هناك حمل متصل مع ملفات الثانوي يمر تيار  $I_2$  وإلا لم يكن يكون  $I_2 = 0$ .

وعبر طريقة التحكم من قيمة اللفات نطرح / رفع أو خفض الجهد

∴ هناك نوعان أساسيين من المحولات





صنف المحول إلى مجموعته من التصنيفات التالية:

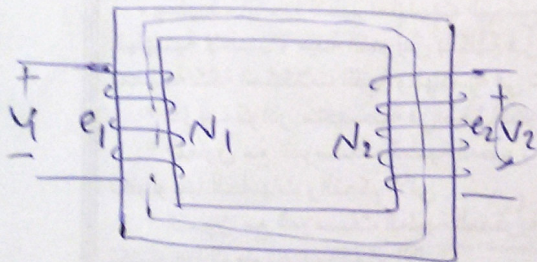
- ① According to Core type  $\rightarrow$  shell type
- ② " " Voltage level  $\rightarrow$  high, medium, Low
- ③ " " Insulation type  $\rightarrow$  oil, air
- ④ " " purpose (مقصود)  $\rightarrow$  stepup, stepdown

طازا لا يعمل المحول مع د.ج.؟

وذلك لأن فكرة عمل المحول مبنية على الـ *Mutual Inductance* والمعادلة على تغير التيار، لذا فمخالفة الـ D.C. لا يكون هناك أي تغير مع الزمن في التيار، ولا يعمل المحول.

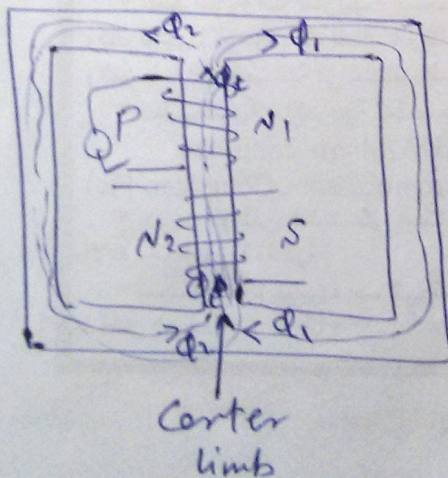
### \* Core type and shell type \*

#### Core Type



يكون على دائرة مغناطيسية واحدة لإرشاد الفيض وتوضع الملفات على طرفي القلب الحديدي كما هو موضح

#### Shell Type



يكون هناك دائرة مغناطيسية للفيض حيث يتوزع على قسمين  $\Rightarrow$  يتجمع مرة أخرى في الـ Center Limb

الموجود عليه ملفات الـ prim, الـ sec. صفا



حساب القوة الدافعة الكهربية المستحثة

Average emf per turn = Average rate of flux

مقدار الجهد المتولد = معدل تغير الفيض مع الزمن

$$\therefore e = \frac{d\phi}{dt} \Rightarrow \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\phi_m - 0}{t_1 - 0}$$

الفيض المتغير  
الفترة العظمى للفترة

$$t_1 \rightarrow \frac{1}{f} \quad \text{مقلوب التردد}$$

$$\therefore e = \frac{\phi_m}{\left(\frac{1}{4f}\right)} = 4f\phi_m$$

← أربع دورات

$$\therefore E_{avg} = 4f\phi_m \quad * 1.11 \quad \text{لتحويل القيمة RMS}$$

$$\therefore E_{rms} = 1.11 * 4 * f * \phi_m$$

$$E_{rms} = 4.44 * f * \phi_m$$

إذا كانت دائرة ملفان الابتدائي

$$E_1 = 4.44 f \phi_m N_1$$

والثانوي

$$E_2 = 4.44 f \phi_m N_2$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \approx \frac{V_1}{V_2}$$

and for currents

$$\left( \frac{I_2}{I_1} \right) = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

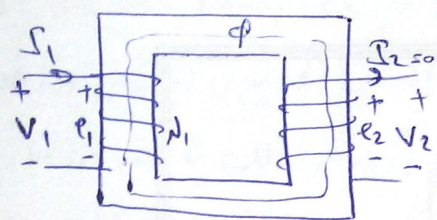
نسبة التحويل  
أصلياً ثافة  
التي

$\frac{N_2}{N_1} (K)$

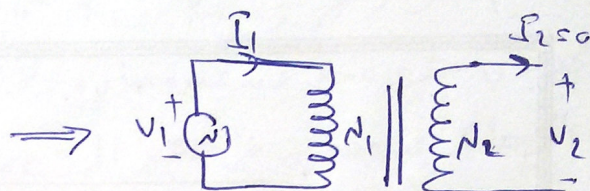


# Ideal Transformer

هو المحول المثالي من جميع أنواع المقاييد وهو غير موجود في الحقيقة لكنه تمثيل للمحول بدون المقاييد فقط .



الدائرة الفعلية



الدائرة المكافئة

## \* في حالة الداهل ومحول Ideal \*

يمر التيار  $I_1$  في القلب الحديدي فيص  $\Phi$  ولكن يمر هذا الفيض في القلب الحديدي لا يمر به وجود تيار كافر لتوليد هذا الفيض يسمى تيار المغنطة أو Magnetization current ( $I_m$ )

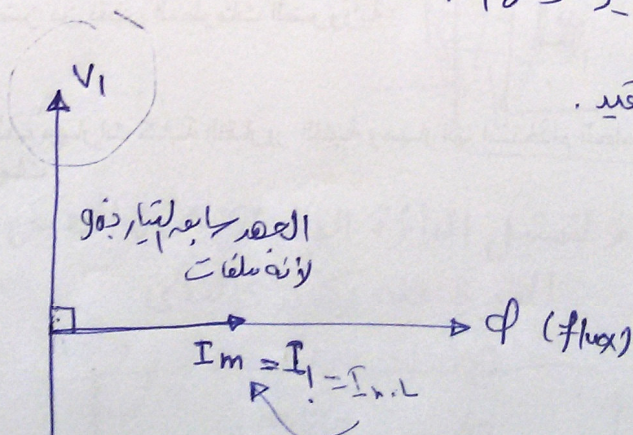
← حاجة شبة ال Residual في الآلة D.C. موجه لكن تفصل الآلة.

وبما أن المحول Ideal يعني ظاهرياً من المقاييد فإنه كل التيار  $I_1$  الداخلى من المصدر  $V_1$  هو المكون للتيار المغنطة  $I_m$  لتوليد الفيض الدائم في القلب الحديدي .

نتيجة وجود الفيض الذي يقطع ملفات  $N_1$  و  $N_2$  تتولد  $E_1$  و  $E_2$  على كل من الأطراف  $N_1$  و  $N_2$  يرمز لهم بالرمز  $E_1, E_2$  ومطابقة المحول Ideal فإنه

$$\begin{aligned} E_1 &= V_1 \\ E_2 &= V_2 \end{aligned}$$

لإهمال المقاييد .



Phasor diagram in case of ideal Trans. on no load

(X)

طبقاً لقانون لينز فإنه القوة الدافعة المتولدة تعاكس القوة المسيطرة ولذا  $V_1$  الموجب لها ومقدار  $E_1 < E_2$  لأنه  $N_1 < N_2$

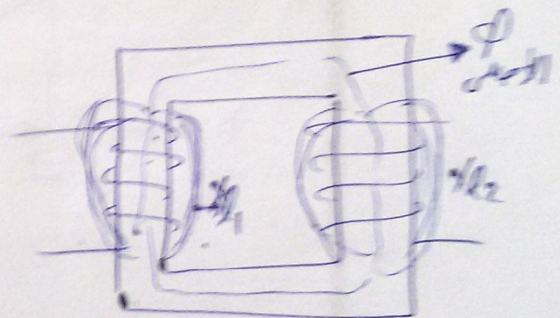
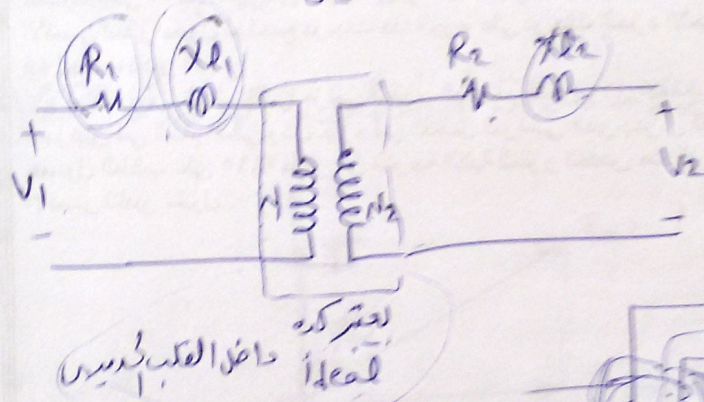


# \* Practical Transformer \*

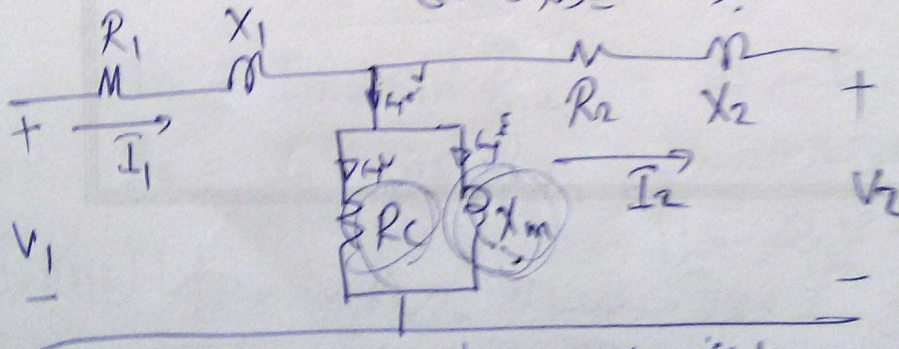
حول الحقيقي

بما أنه المتحول به ملفات (موصولات) في ال  $prim$  و ال  $sec$  فلذلك هناك مقاومة لهذه الموصولات نضع الرمز لا  $R_1$  و  $R_2$  على التوالي لـ  $prim$  و  $sec$  والفيض المار في القلب الحديدي جزء منه يحيد عن مساره ولا يمر في القلب الحديدي ليس فيض مهمل أو حاد عن مساره في جهة ال  $prim$  و  $sec$  أيضاً ولذلك للتعبير عن هذا الفيض الـ  $leakage$  نضع الرموز  $X_{l1}$  و  $X_{l2}$  أو  $X_{l1}$  و  $X_{l2}$  على التوالي جهة ال  $prim$  و  $sec$  يتبقى القلب الحديدي له مقاومة تمثل بـ  $R_c$  ويتشبع بتيار المغنطة  $I_m$  (نفس سعة ذكره) لذا يتم التعبير عن المغنطة داخله بـ  $X_m$ .

الدائرة المكافئة للمحول الحقيقي



و لتبسيط الدائرة المكافئة للمحول الحقيقي نضع كل الأجزاء المعبرة عنه ليكون كالآتي



... الدائرة المكافئة المبسطة للمحول



## ④ Practical transformer at no-load ④ محولة الحقيقية في حالة اللاحمل

في المحول المثالي Ideal لانه التيار المأخوذ من المصدر كله يذهب للمغلفة المولدة للفيض العارض القلب الحديدى لكنه في الواقع تيار اللاحمل  $I_{n.L}$  (المأخوذ من المصدر)

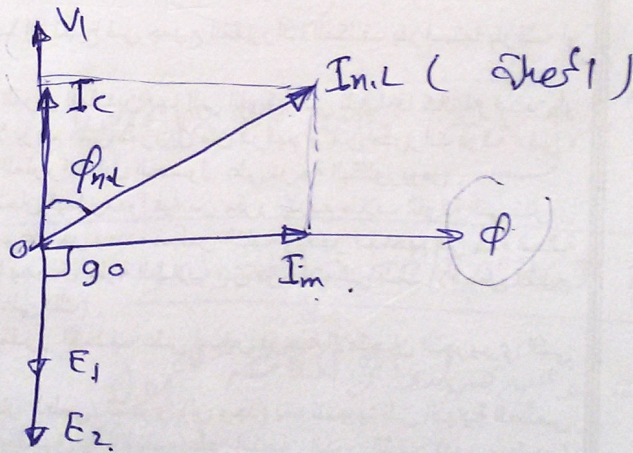
هو عبارة عن جزأين :  
 ١- تيار المغلفة  $I_m$  اللازم لتوليد الفيض  
 ٢- تيار مصدور في القلب الحديدى  $I_c$  لآلة

$$\bar{I}_{n.L} = \bar{I}_0 = \bar{I}_m + \bar{I}_c$$

(مجموع اتجاهه وليس عدي)

$$I_{n.L} = \sqrt{I_m^2 + I_c^2}$$

هذا التيار انه يكون له متعلقاته على بعضهما البعض في التحويل في الphasor diagram

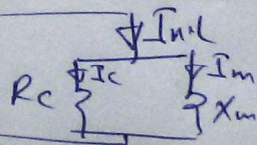


في الphasor ديكيم استنتاج كيفية حساب  $I_c$ ,  $I_m$

$$I_m = I_{n.L} \sin \phi_{n.L} \quad \text{ديكم كتابة } I_m \leftarrow I_{n.L}$$

$$I_c = I_{n.L} \cos \phi_{n.L} \quad \text{ويكون هو تيار المصدر}$$

في حالة اللاحمل وهو يتجزأ  
 لجزأين  $I_m, I_c$  ولأنه وضعنا  $R_c, X_m$  قوازمنا لآلة الأثر الكافية





## Power on no load

## القدرة عند حالة الاعملى

عندلا يحتمل المحول يمر به تيار  $I_{n.L}$  المكونه من  $I_m$ ,  $I_c$   
 حيث  $I_c$  المفقود من ال Core الخاص بالمحول و  $I_m$  اللازم للمغطة  
 لذا فإن القدرة المفقودة = القدرة الناتجة من المحول وقتل  
 وكل القدرة تذهب لـ  $losses$  من ال Core و ال Copper خاصة ال primary فقط

تحتب علاقة أخرى  
 $P_{iron}$  خاصة من ال

$$P_{iron} = P_o = V_1 I_o \cos \phi_o \rightarrow I_{n.L} \cos \phi_{n.L}$$

$\downarrow$   
 $I_c$

$$P_o = V_1 \times I_c$$

حيث  $\cos \phi_o$  هو  $\cos \phi_{n.L}$  هو  $P.f.$  معامل القدرة عند الاعملى

وحيث أنه  $E_1 \approx V_1$  عند الاعملى أيضاً

## الدائرة المكافئة الصحيحة للمحول :-

هناك نوعين من دوائر المكافئة للمحول

- 1- exact Eq. circuit
- 2- approximat Eq. circuit

ولرسم الاشياء لا بد من النظر للمحول من جهة واحدة

لسهولة تمثيله كهربياً كدائرة مكافئة لذلك نضع كل Referring

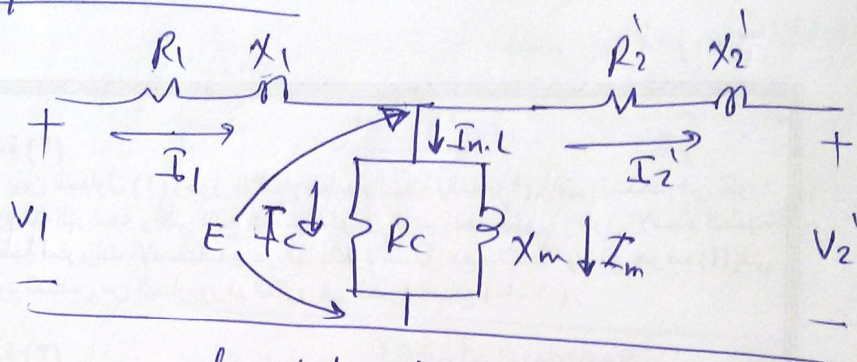
لـ parameters الخاصة بالمحول كل خاصة ال primary أو

خاصة ال secondary و رسم تمثيله لاصفاً



# Transformer Equivalent Circuit

## ① exact Equivalent circuit



هذه الدائرة كلها مرفوعة إلى primary

كل ما عاوز ابرهنه من ناحية ال primary كل اجزاء الدائرة لنقلها من parameters من ناحية ال sec. الى ناحية ال primary وذلك من طريق التحويل

$$R_2' = R_2 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

prim ← secondary  
الموجود في ال sec.

←  $\frac{N_1}{N_2}$   $\left( \frac{\text{الجهد الاولي}}{\text{الجهد الثاني}} \right)$  مربع

$$\therefore X_2' = X_2 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^2$$

$$V_2' = V_2 \times \left( \frac{V_1}{V_2} \right)$$

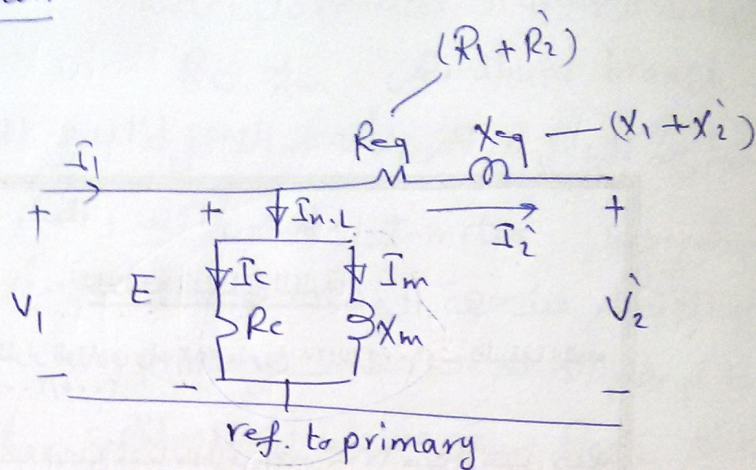
اما الجهد و التيار  
من غير تدبير

$$I_2' = I_2 \times \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$$

و التيار معكوس النسبة



## ② approximate Equ. Circuit



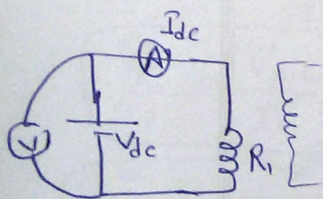
- يتم اعتبار ال V. drop على ملفات ال primary صغير جداً بحيث يمكن نقله من ناحية جهد المصدر إلى ناحية جهد الحمل لتصبح الدائرة المكافئة كما بالشكل السابق
- هذا الاثر لا يظهر نتائج غير دقيقة من الحمل عكس الدائرة ال Exact التي لم يتم إهمال أي شيء فيها.

## \* Tests done on Transformer \*

الغرض من هذه الاختبارات هو تحديد ال Parameters الخاصة بالحمل لكن يتم فعله في دائرة مكافئة يمكن التعامل معها وحساب بيانات الحمل عند العمل وعند التحميل وفيه ثم معرفة كفاءته وال V. Regulation.

هناك 3 أنواع من الاختبارات تتم على المحول:

### ① D.C. Test (يمكنه ألا يكون مقفراً)



فيه يتم معرفة قيمة مقاومة الملفات ناحية ال primary أو ناحية ال secondary  $R_1$  أو  $R_2$  عن طريق تليط مصدر جهد D.C. على أطراف الملف الابتدائي أو الثانوي وقراءة الجهد المسلط والتيار المار في الملف يمكنه من معرفة المقاومة

يتم ضرب المقاومة من 1.25 للتغلب على ظاهرة skin effect

$$R_{d.c} = \frac{V_{d.c}}{I_{d.c}}$$

$$R_1 = 1.25 * R_{d.c}$$



## [2] opencircuit test

الغرض منه تحديد قيمة ال parameters الخاصة بالشنت branch وهي  $R_c$  و  $X_m$

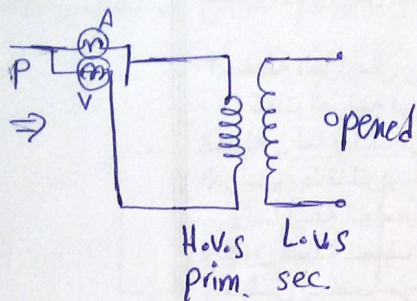
- عند طريقه التعامل مع المحول كأنه عند اللاهل لذا يصبح المحول open circuit ولا يمر به التيار  $I_{n.L}$  (o.c)

- يتم وضع جهاز watt-meter لقياس الكهـد والسيار والقدره الناتجة

- يتم الاختيار عند جهة ال H.v. side (غالباً ويمكن أن يتم عند ال L.v. side ولكن ثير يفضل)

- إذا تم وضع الأجهزة عند جهة ال primary فإنه

النتائج  $R_c, X_m$  ستعبر منسوبه أنوتاتيل لخاصية ال primary



- تحويل الدائرة المكافئة للمحول للدائرة الآتية:

هـ لقرارات  $P_{n.L}$  و  $V_{n.L}$  و  $I_{n.L}$

التي يقرأها الجهاز

(المسابات كالآتي)

$$P_{n.L} = V_{n.L} I_{n.L} \cos(\phi_{n.L})$$

$$\therefore \cos(\phi_{n.L}) = \frac{P_{n.L}}{V_{n.L} \times I_{n.L}}$$

$$\phi_{n.L} = \cos^{-1} \left( \frac{P_{n.L}}{V_{n.L} \times I_{n.L}} \right)$$

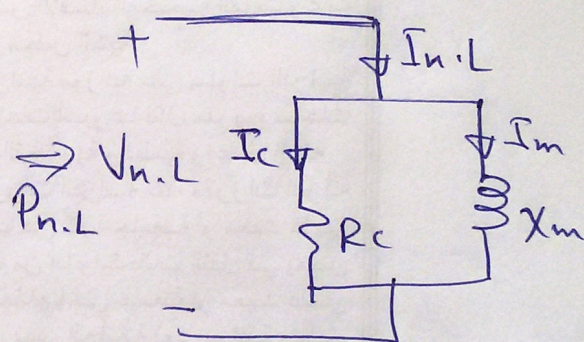
$$I_m = I_{n.L} \sin \phi_{n.L}$$

$$I_c = I_{n.L} \cos \phi_{n.L}$$

$$R_c = \frac{V_{n.L}}{I_c}$$

$$X_m = \frac{V_{n.L}}{I_m}$$

إذا تم الاختيار جهة ال primary تكون منسوبه مباشرة إلى خاصية ال primary



$$P_{n.L} = P_{iron} \rightarrow P_{core}$$

$$V_{n.L} = V_{rated}$$



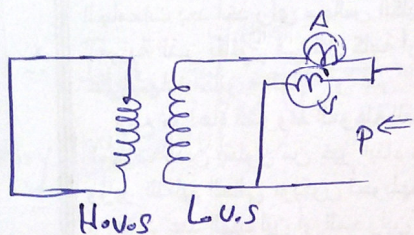
مريضه هذا الإختبار هو تدرية قيم

### 3] short circuit test

$X_{eq}$  و  $R_{eq}$  للمحول

- يتم وضع الأجهزة من جهة معينة للمحول وعمل short circuit من الناحية الأخرى
- الجهة التي يوجد فيها الأجهزة سوف تكون النتائج منسوبة إلى الـ
- يتم عمل هذا الإختبار من أغلب الأحمال خاصة الـ  $100\% \text{ rated current}$  ليعبر الـ  $rated$  current ولكن إذا عمل هذا الإختبار من ناحية الـ  $100\% \text{ rated current}$  وكان هو الـ  $prim.$  بجاء الـ  $sec.$  ستكون أيضاً منسوبة مباشرة ناحية الـ  $prim.$  من الدائرة المكافئة.

- الأجهزة تقرأ  $V_{s.c}$  و  $I_{s.c}$  و  $P_{s.c}$



تؤخذ من الدائرة المكافئة للمحول من هذه الإختبار كالآتي:

الحسابات الآتية

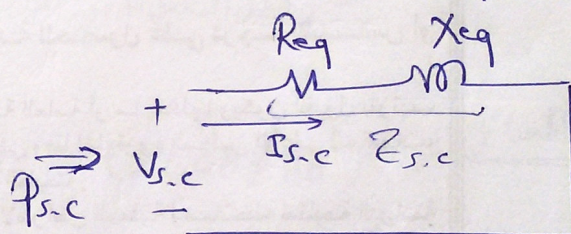
$$P_{s.c} = I_{s.c}^2 R_{eq}$$

$$R_{eq} = \frac{P_{s.c}}{I_{s.c}^2}$$

$$V_{s.c} I_{s.c} = V_{s.c}$$

$$|Z_{s.c}| = \frac{V_{s.c}}{I_{s.c}} = \sqrt{R_{eq}^2 + X_{eq}^2}$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{s.c}^2 - R_{eq}^2} \quad X_1 = \frac{X_{eq}}{2} = X_2$$



هنا

$$P_{s.c} = P_{copper \text{ total}}$$

$$I_{s.c} = I_{f.c} \sim \text{فقط الـ } f.c$$

يمكن الإختبار من

أيضاً

$$X_1 = X_2$$



محول يُعرف بال KVA للقدرة وليست Kw كالتي في الدوائر  
وهي القدرة الظاهرية (S)

if give  $S = \boxed{\text{KVA}}$

يمكنه من حساب التيار ال Load خاصة ال prim. و sec.  
لأنه المحول يحافظ على القدرة الداخلة = القدرة الخارجة

$$\Rightarrow S = S_1 = S_2$$

$\therefore I_{f.L} = \left( \frac{S}{V_1} \right) \rightarrow$  تيار الحمل الكامل خاصة ال prim  
جهد ال primary

$I_{f.L} = \left( \frac{S}{V_2} \right) \rightarrow$  تيار الحمل الكامل خاصة ال sec.

في المسائل:  $1-\phi$  Transforme 15KVA  $(2200^{V_1} / 110^{V_2})$   
جانب ال S هو ال 15KVA وال  $V_1 \leftarrow 2200$  (H.v-side)  
 $V_2 \leftarrow 110$  (L.v-side)

وأقدر أنرفسه هنا أنه محول فقط للجهد

### \* Voltage Regulation \*

تنظيم الجهد في المحول

هو معامل للتحكم على المحول لمعرفة مدى استجابة أداة عند توصيل الحمل الكامل  
فجأة عليه أو فصل الحمل الكامل عنه.

$$VR\% = \frac{V_{n.L} - V_{f.L}}{V_{f.L}} \times 100$$

لولا الحالة الأولى هو الحمل الكامل  
ثم فصله

$$VR\% = \frac{V_{n.L} - V_{f.L}}{V_{n.L}} \times 100$$

لولا الحالة الأولى هو الحمل الكامل  
ثم وصلته الحمل الكامل فجأة



نكتب كتابه القانون على الصورة الآتية:

$$VR\% = \frac{E_2 - V_2}{V_2} \times 100$$

$E_2 \rightarrow$  جهد ال sec. عند الحمل

$V_2 \rightarrow$  جهد ال sec. عند الحمل الكامل أو عند حمل معين

له قانون بصور أخرى

$$VR\% = \frac{\text{Total V. drop}}{V_2} \quad \text{و} \quad \text{Total V. drop} = I_2 R_{eq} \cos \phi \pm I_2 X_{eq} \sin \phi$$

$$VR\% = \frac{I_2 R_{eq} \cos \phi \pm I_2 X_{eq} \sin \phi}{V_2} \times 100$$

الحسابات كلها  
مع جهود وتيارات  
ال sec.

$+$   $\rightarrow$  if lagging P.f.

$-$   $\rightarrow$  if leading P.f.

$\cos \phi \rightarrow$  P.f. للحمولة

$$\phi = \cos^{-1}(\text{P.f.})$$

$$\therefore \sin \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \phi}$$

$$I_2 \rightarrow \frac{S}{V_2}$$

$$R_{eq} \rightarrow (R_1 + R_2) \quad (\text{ref. to sec.})$$

$$X_{eq} \rightarrow (X_1 + X_2) \quad (\text{ref. to sec.})$$



يمكن أيضاً التعبير عن VR بدلالة ناوية ال prim كالتالي

$$VR\% = \frac{I_1 R_{eq} \cos \phi \pm I_1 X_{eq} \sin \phi}{V_1} \times 100$$

$$I_1 = \frac{S}{V_1}$$

+  $\rightarrow$  lag P.f.  
-  $\rightarrow$  lead P.f.

$$R_{eq} = (R_1 + R_2)$$

ref. to prim

$$X_{eq} = (X_1 + X_2)$$

// //

VR%

$\rightarrow$  +ve

$\rightarrow$  -ve

(Inductive load ( $V_2 < E_2$ )  
(lagging P.f.)

(Capacitive load ( $V_2 > E_2$ )  
(leading P.f.)

(leading P.f.)

### \* Losses in Transformer \*

#### ① Core or iron losses

ناوية

Hysteresis loss

$$P_h = k_h B_m^{1.67} f V$$

Eddy Current loss

$$P_e = k_e B_m^2 f^2 t^2$$

(watt)

$k_h \rightarrow$  hysteresis const.

$B_m \rightarrow$  max flux density

$f \rightarrow$  freq.

$V \rightarrow$  ناوية  
حجم

$k_e \rightarrow$  eddy current const.

$t \rightarrow$  thickness of core  
قطر

$$P_{\text{Core iron}} = P_h + P_e$$



## ② Copper losses

Total Copper losses = Copper loss in primary + Cp. loss in secondary

$$\therefore P_{\text{copper total}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 (R_{eq}) = I_2^2 (R_{eq})$$

$\downarrow$   $(R_1 + R_2')$                        $\downarrow$   $(R_2 + R_1')$

## \* Transformer Efficiency \*

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100 = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + P_{\text{total losses}}} \times 100$$

$$P_{\text{out}} = V_2 I_2 \cos \phi \rightarrow P.f.$$

$$P_{\text{copper total}} = I_2^2 R_{eq}$$

$\rightarrow$  full load current eq.  $\rightarrow$  in

$$\therefore V I = S \rightarrow \text{rating of Transformer}$$

$$\therefore \eta\% = \frac{V I \text{ P.f.}}{V I \text{ P.f.} + P_{\text{copper total}} + P_{\text{iron}}} \times 100$$

$$\eta\% = \frac{S \times \text{P.f.}}{S \times \text{P.f.} + P_{\text{copper total}} + P_{\text{iron}}} \times 100$$

$\downarrow$   
 in full load



لو العمل قل أو زاد، الحمل هبوط التلوية يترجم إلى عيار وبعده

$$S = V I$$

$$P_{copper} = I^2 R$$

if load become 50%.

$$\therefore I_2 = 50\% I_1$$

$$\therefore I_2 = \left(\frac{50}{100}\right) I_1 = 0.5 I_1$$

$$n = 0.5$$

معامل ربحه للدراسة على تغيير الحمل بنسبة كام

الحمل الجديد  
الحمل القديم  
نسبة تغير الحمل

$$\eta \% = \frac{n \times S \times P.F.}{n \times S \times P.F. + P_{iron} + n^2 \times P_{copper}} \times 100$$

نسبة العمل آفر